

DIS 实验新探

DIS 二维运动实验系统及实验(II)

冯容士 李 鼎 (上海市中小学数字化实验系统研发中心 上海 200072)

四、实验实例

(接上期)

2. 单摆运动

看似简单的单摆运动,其中蕴含着丰富的物理内容。由于传统测量工具所限,以往实验中难以获得对于教学至关重要的信息。

用 DIS 二维运动实验系统做单摆运动实验,不仅能测出单摆的周期和重力加速度,还能通过运动轨迹来研究摆球的运动状态。该系统获得的振动图线还可以证明:在摆角很小的情况下,单摆振动时的回复力和位移成正比,且方向相反,这正是简谐振动的标准定义。

(1) 实验装置构成

图 10 为实验装置图。装有把手的发射器作为单摆悬挂在支架上。为使发射器摆动稳定,采用双线悬挂形式(其物理机理与单线相同),摆线的长度利用夹具可做调整。接收器固定在支架顶端。接收器的窗口和发射器应处于同一平面。采样频率默认为 50 Hz。

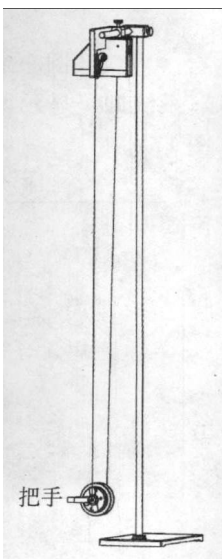


图 10

(2) 实验操作

- 点击“二维运动实验专用软件”的实验条目“单摆”,打开软件。实验界面如图 11 所示。界面上方是实时轨迹图,下方是 $s-t$ 图。

- 点击“开始记录”。打开发射器电源,并使发射器在平衡位置静止。

- 点击“平衡位置”,使界面上的红色轨迹球移到轨迹显示图的原点上(图 11)。

- 借助本系统可精确测量摆长。此时,发射器的摆动幅度应大于 20 厘米。步骤如下:

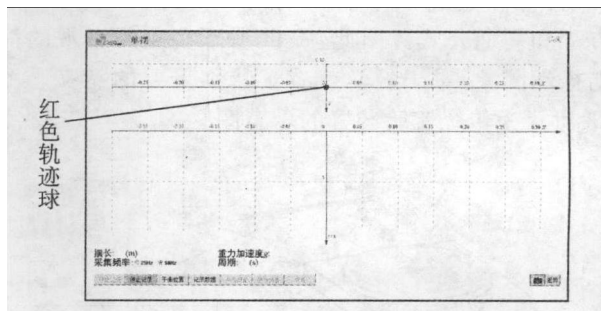


图 11

A. 手持发射器把手,放手后让发射器摆动,点击“开始记录”,当 $s-t$ 图象显示一个完整周期后,点击“停止记录”(图 12)。

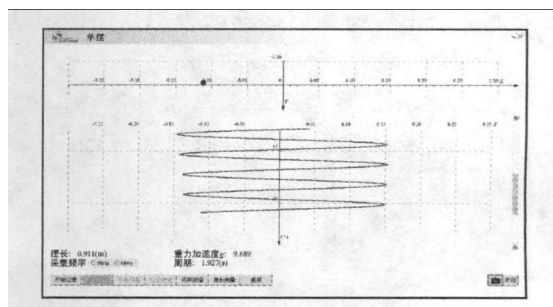


图 12

B. 在数据表中选择最大负位移与最大正位移之间的区间。点击“摆长测量”,系统即可算出摆长 L 。

- 借助本系统可精确测量摆的周期。

目的如下:单摆法求重力加速度的公式是简洁而优美的物理公式。通过验证单摆公式并结合科学史教学,可强化学生对科学发现的体验。在摆长 L 恒定的情况下,验证单摆公式的关键就是精确地测量周期 T ,从而求得 g 值。为实现这个教学目的,本实验软件设置了测量周期的功能。

测量周期的步骤如下:

A. 将发射器的摆动幅度控制在 5° 以内。

B. 点击“开始记录”,当 $s-t$ 图线延伸满幅时,点击“停止记录”。

C. 读出可以测量的整周期数,调整界面的“周期数”与之对应。

D. 点击“周期测量”,在 $s-t$ 图中依次点击起始点和结束点,系统即可计算出单摆的周期 T 和重力加速度 g 。

E. 比较测量得到的 g 值与当地实际值,研究误差产生的原因。

3. 匀速圆周运动投影

匀速圆周运动的投影是简谐振动。但在中学物理教学中,不能用高等数学来推导简谐振动的位移方程和周期公式。因此,提供基于实验的直观的简谐振动图象,对于教学就有了特别重要的意义。图 13 所示为传统实验装置的示意图。

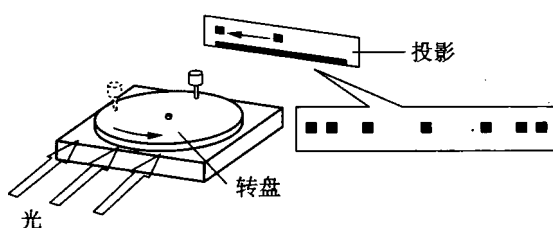


图 13

应用 DIS 二维运动实验系统和配套器材,可直观形象地显示出匀速圆周运动的投影是简谐振动。

(1) 实验装置

如图 14 所示。底盘一端装有接收器,另一端安装的电动转盘带动发射器做匀速圆周运动,其转动半径可调。

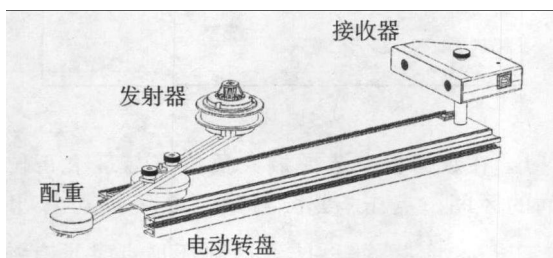


图 14

(2) 实验操作

● 实验时,先将发射器置于电动转盘的圆心处,点击“原点定位”,使界面上红色轨迹移动到圆心处(图 15)。

● 再将发射器固定在电动转盘的悬臂上,开启转盘电源。

● 点击“开始记录”。发射器匀速转动时,不仅可见其圆周运动的轨迹,还可见到其在 Y 轴上做往复运动的投影——具备正弦波特征的曲线(图 16),从而加深对简谐振动的理解。

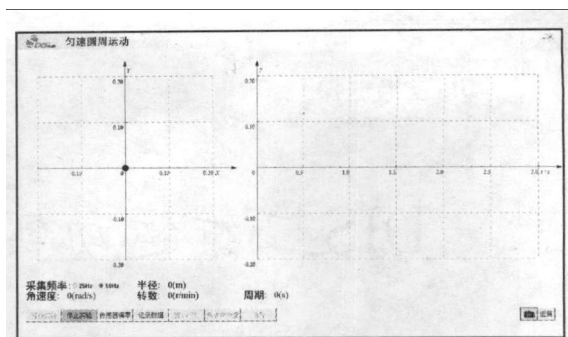


图 15

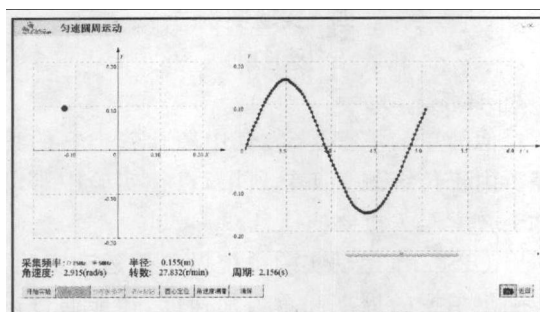


图 16

● 点击“圆心定位”,在振动曲线上选取一定区域,系统即可显示圆周运动的半径和角速度的大小(图 17)。

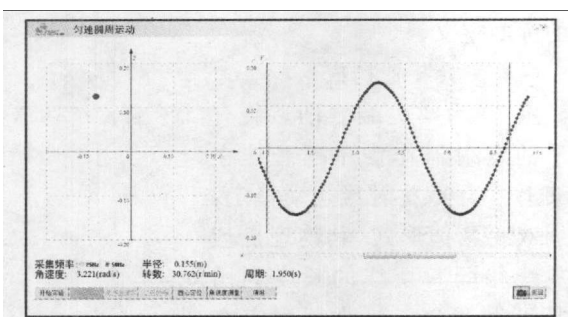


图 17

4. 验证摆球摆动时的机械能守恒

研究机械能转化和守恒,一般选用自由落体进行研究。采用 DIS 二维运动实验系统后,具普遍意义的曲线运动即可被用来研究机械能的转化和守恒,可使学生对“能”这一概念的本质内容——转化和守恒产生深刻的印象,并可以为学生在今后的学习中运用能量守恒和转化的观点来认识物理规律、分析物理问题打下基础。

(1) 实验原理

通过定量测定摆锤在不同位置的高度和速度,计算出不同位置的机械能,最后归纳出机械能守恒定律。

(2) 实验装置

如图 18 所示,该实验装置与单摆实验相同。为研究方便,可缩短摆长,增加摆动的角度使之大于 5°。

(3) 实验操作

● 连接计算机及接收器,点击“二维运动实验专用软件”的实验条目“机械能守恒”,打开软件。

● 点击“开始记录”。打开发射器的电源,使发射器静止在平衡位置(最低端),并点击“设置零点”(图 19)。

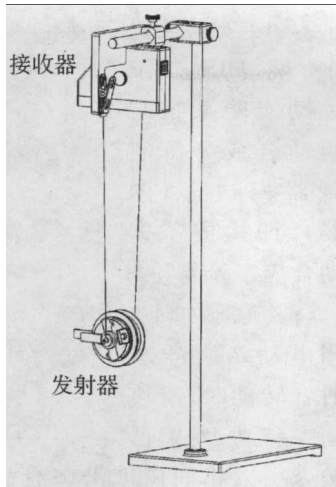


图 18

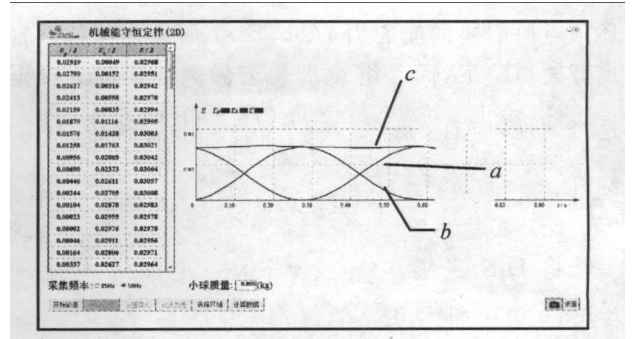


图 21

况下,其重力势能(图 21 中的 a)和动能(图 21 中的 b)可以相互转化,而总的机械能(图 21 中的 c)保持不变。

5. 离心轨道

传统的离心轨道经常用来演示物体在竖直的环形轨道上的运动,因包含动能势能转换、圆周运动等众多物理要素,是一种深受师生欢迎的实验器材。将 DIS 二维运动实验系统引入离心轨道实验,无疑会凭借量化的优势为这一实验增加更为丰富的教学内容。

(1) 实验原理

让小球在实验器的斜坡上先后从不同高度沿轨道滚下。实验表明:如果小球从足够高的位置自由滚下,到达圆环顶点时不会坠落,并继续沿轨道滚动前进。这个高度可根据计算获得。

设圆环的半径为 R,小球的质量为 m,它从高 H 的位置开始滚下(图 22)。开始时小球具有的势能为 mgH,到达圆环顶

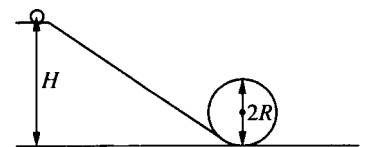


图 22

点时具有的势能为 mg · 2R。如果不考虑小球滚动时克服各种阻力所消耗的能量,那么它减小的势能就转变成动能,因此小球到达圆环顶点时具有的动能为:

$$mgH - mg \cdot 2R = \frac{1}{2}mv^2$$

式中的 v 是小球的线速度。

$$\text{由此应有: } v = \sqrt{2g(H - 2R)}$$

所以要使小球在圆环的顶点时继续沿轨道做圆周运动,所需要的向心力为:

$$F = \frac{mv^2}{R} = \frac{2mg(H - 2R)}{R}$$

如果小球所受的重力 G = mg 小于小球到达圆

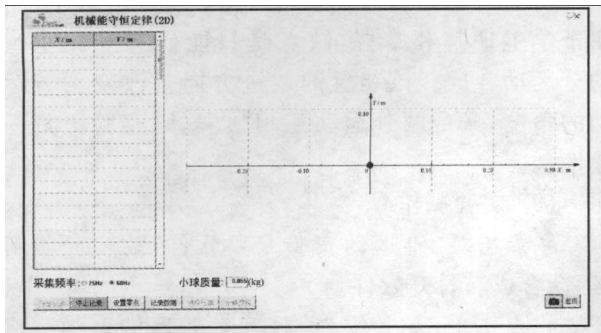


图 19

● 使发射器偏离其垂线位置后释放,使其摆动。点击“记录数据”,系统即可自动记录发射器——单摆的运动轨迹(图 20)。

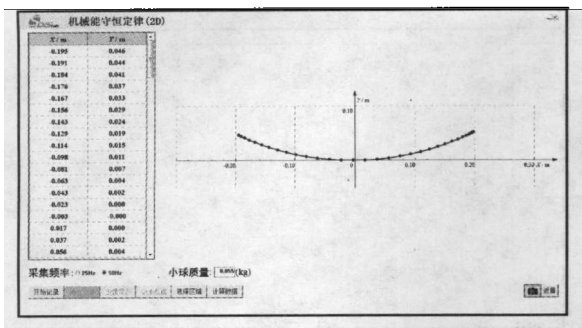


图 20

● 点击“选取区域”,在运动轨迹上选取适当区域后,点击“计算数据”,系统即可计算出所选区域中各运动轨迹点的重力势能、动能及其总机械能(图 21),并绘出对应的图线。

● 从图 21 可以发现:物体在只有重力做功的状

环顶点所需要的向心力 ($G \leq F$), 那么小球就不会离开轨道坠下, 而是继续沿轨道做圆周运动。根据这个条件, 应有: $mg \leq \frac{2mg(H-2R)}{R}$ 。解得: $H \geq 2.5R$ 。

(2) 实验装置

将 DIS 二维运动实验系统与如图 23 所示的离心轨道相配合, 即构成了离心轨道实验的基本装置。

(3) 实验操作

- 实验时, 连接计算机和接收器, 点击“二维运动实验专用软件”的实验条目“离心轨道”, 打开软件。

- 实验界面如图 24 所示, 左侧是数据表格, 右侧为实时轨迹图。

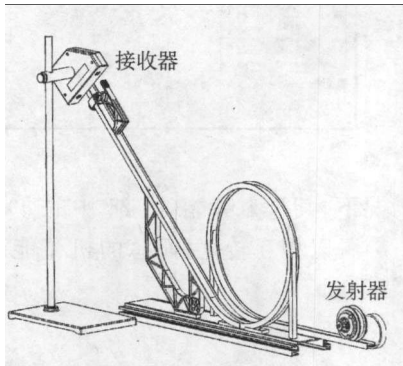


图 23

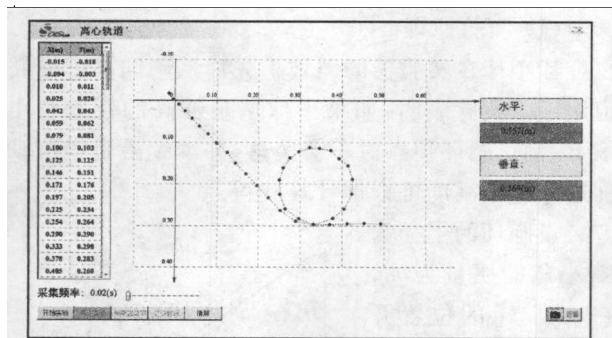


图 24

- 点击“开始记录”, 开启发射器电源。让发射器从轨道高处自由滚下, 软件即实时显示其运动轨迹。

- 实验显示: 发射器能够到达轨道的最高点, 而且从轨迹的分布以及所得到的数据证实(在误差范围内), 经过各点的动能和势能的变化规律符合机械能守恒定律。

- 当释放高度 $H \leq 2.5R$ 时, 发射器将无法到达轨道的最高点, 此时可以观察到不同斜抛运动的对应轨迹, 其各点的数据同样符合机械能守恒定律。

6. 运动合成

一个物体同时参与两个运动, 这个物体实际的运动称为合运动, 参与的两个运动称为分运动。运动合成的演示通常以“位移合成”为代表。

(1) 实验装置
将 DIS 二维运动实验系统与运动合成实验器相结合(图 25), 即构成了运动合成实验装置。

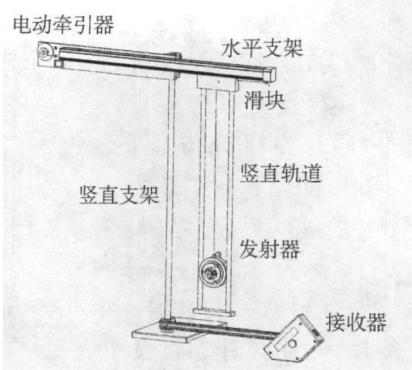


图 25

其原理如下: 当电动牵引器顺时针转动时, 滑块向左移动, 发射器被牵引以相同速度沿竖直轨道向上运动, 发射器同时参与水平向左和竖直向上的合运动; 当牵引器逆时针转动时, 发射器参与向右和向下的合运动。系统描绘出的发射器运动轨迹, 即为合运动的轨迹。

此实验装置结构比较简单, 优点是一目了然, 便于学生理解和掌握, 缺点是只能研究互相垂直的分运动合成。该装置的改进方向是改变两分运动的角度, 又令两分运动互相独立, 则实验更具一般性。

(2) 实验操作

- 点击“二维运动实验专用软件”的实验条目“运动合成”, 打开软件。

- 点击“开始记录”。打开发射器的电源。将发射器调至轨道最低点, 并靠近接收器。点击“传感器调零”。

- 打开实验器的运动控制开关, 点击“记录数据”即可获得发射器的运动轨迹图(图 26)。

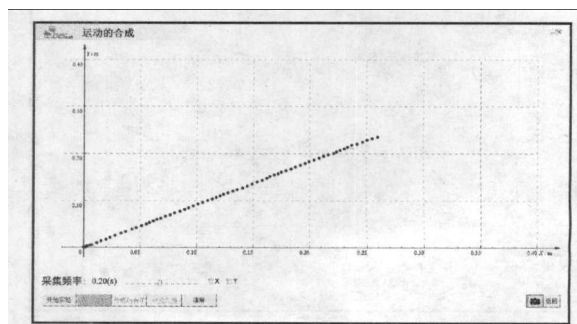


图 26

- 点击界面中的“X”和“Y”, 计算机自动描述出该运动沿 X 轴和 Y 轴的分运动轨迹(图 27), 可见显著的线性规律。

- 改变传感器的采集频率, 重复实验, 分析合运动与其分运动的关系。

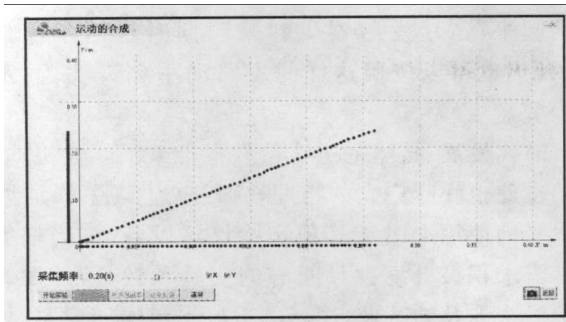


图 27

7. 阻尼振动

振幅随时间减小的振动称为阻尼振动。阻尼振动是非简谐运动。利用 DIS 二维运动实验系统和配套器材,可显示阻尼振动的振动图线。

(1) 实验装置

如图 28 所示。固定支架上装有接收器,振动臂的另一侧固定发射器,振动臂的长度可调。

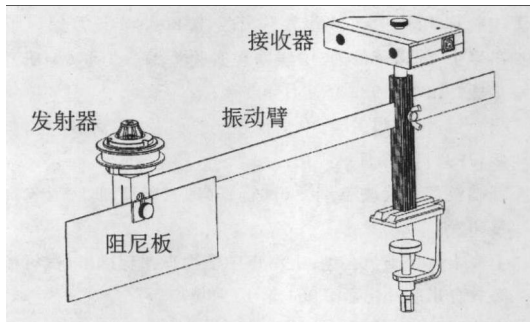


图 28

(2) 实验操作

- 点击“二维运动实验专用软件”的实验条目“阻尼振动”,打开软件。

- 打开发射器电源,点击“开始记录”。保持振动臂静止,点击界面中的“传感器调零”,使界面中的红色轨迹点移到坐标系的原点。

- 使振动臂振动,点击“阻尼振动”。软件界面左侧坐标系实时显示发射器所在的位置,右侧坐标系显示发射器在 Y 轴方向随时间变化的投影(图 29)。

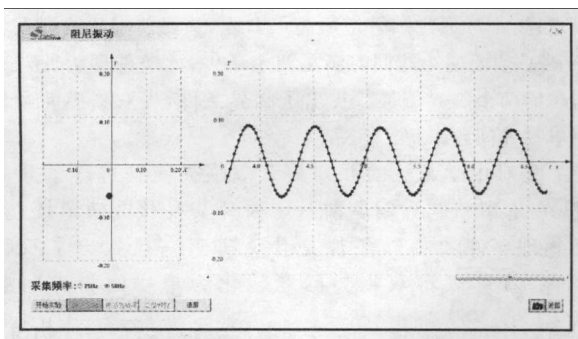


图 29

- 改变振动臂的长度、振动臂的配重以及阻尼板,可比较不同阻尼振动图线(图 30)。

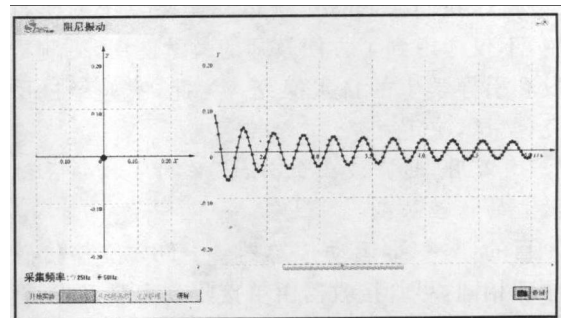


图 30

五、DIS 二维运动实验系统研发后记

DIS 二维运动实验系统能给教学带来什么?在研发该系统的过程中,这个问题始终萦绕在我们的脑海中。

工欲善其事必先利其器。对教师来说,教学方法和手段的更新,已经使教学中的“不可能”变成了“可能”,也使得知识讲解过程中的“不可见”变得“可见”。想必 DIS 二维运动实验系统能够为教师提供相应的助力。

但我们更期望 DIS 二维运动实验系统能够为广大学生带来启发!

按照著名教育家杜威的理论:学生才是教学的中心。国家新一轮课程教材改革纲要对课改基本理念的表述,也在很大程度上说明我国课改受杜威思想影响至深。杜威同时指出:传统教学思想的基础是把学生定义为或默认为“知识的旁观者”,其职责就是接受;而理想的教育应该把学生看作“知识建构的主体参与者”,教学过程中应创设探究环境并构建以探究为主的教学方式,促进“知行合一”,让学生从“做”中学。近年来的教育心理学研究也表明:视觉是学生获取有效信息的主要渠道,视觉信息要占到学生所获取的有效信息的 80% 以上。因此,提供直观感受和体验,解决看得到看不到的问题,不仅是教师“教会”学生的关键,更是学生能否“学会”的要点。

具体到 DIS 二维运动实验系统所开创的实验领域,基本上传统实验手段和工具落后形成的难点甚至禁区。这些难点和禁区的存在,使得教师即便想为学生提供与课堂教学对应的探究环境也无能为力,学生也只得沦为被动的接受者和旁观者,甚至冥想者。而 DIS 二维运动实验系统的出现则扭转了这种局面,学生能够获得的直观认识和体验空前

增加,这对于学生完成“从现象到规律、从体验到认知”的跨越至关重要。

所以,我们在 DIS 二维运动实验系统的研发过程中,不仅考虑到了方便教师的教学使用,更侧重了启发和引导学生的自主探究。为此,我们经过反复研究、尝试,决定:

1. 沿用“超声波+红外线”作为支持该系统测量功能的物理基础

目的:与一维运动传感器——DIS 位移传感器的原理相同,尽管接收器由单接收改为双接收,但还是便于学生理解,并体现了工具发展的渐进性。

2. 采用“核心模块(发射器和接收器)+扩展器材”的基本结构

目的:体现现代工业设计中的模块化思想,同时为学生和教师基于核心模块自制更有特色的扩展器材,解决更多的实验问题打下了基础。

3. 强化“数形结合”的软件呈现方式

目的:促进学生对于数形关系的认知,支持他们透过现象发现规律。

4. 设置了“半自动”的实验过程

目的:强调学生必须经历必要的操作甚至多人协作,以使其获得探究的感受和体验。这就是我们对“做中学”教育思想的贯彻。

5. 争取让每一个实验都“好玩”

目的:DIS 的研发使人心灵年轻——这是自己的工作体会,我们更想通过 DIS 的使用让学生们的思想永远鲜活。因此我们增加了 DIS 二维运动实验系统系列扩展实验的趣味性,比如“让装

置动起来”、“让发射器飞起来”,同时也给学生以暗示:你也可以按照这样的思路动手创设实验,进行探究。

时代发展、技术的进步给教育带来了巨大机遇。我们在此也呼吁广大的物理教师:应当摆脱被动地、低水平地使用 DIS 或其他实验仪器设备,应当根据教学需求积极开发独具匠心的实验和教具,开发教材中尚未涉及的区域,用新的手段揭示物理现象,打造新的仪器设备,包括新的 DIS! 同时,也让我们这些研究者不再孤独。

DIS 二维运动实验系统还能给教学带来什么? 让我们一起来研究吧!

参考文献

- [1] 教育部教学仪器研究所编. 中学理科教学仪器配备目录. 2000 年 6 月.
- [2] 教育部教学仪器研究所编. 中小学教师继续教育教材·高中物理学生实验. 人民教育出版社. 2003 年 6 月第一版.
- [3] 冯容士、陈燮荣编著. 中学物理实验汇编·力学(上册). 知识出版社出版. 1982 年 9 月第 1 版.
- [4] 杨介信、张大同主编. 中学物理实验大全. 上海教育出版社出版. 1995 年 12 月第一版.
- [5] 基础教育课程改革纲要(试行). (国家教育部 2001 年 6 月 8 日印发)
- [6] 上海市教育委员会编. 上海市中学物理课程标准(试行稿). 上海教育出版社出版. 2004 年 10 月第 2 版.
- [7] 吕达、刘立德、邹海燕. 杜威教育文集(第 2 卷). 人民教育出版社. 2008 年 02 月第一版.
- [8] 韦钰、(加)罗威尔. 探究式科学教育教学指导. 教育科学出版社. 2005 年 10 月第一版.

(上接第 41 页)

$v_B \geq 0$; 小球从 B 点平抛后掉在 A 点,必须要使小球从 B 到 A 运动的水平位移为 R,即满足双临界条件:既能够通过 B 点又恰好能掉在 A 点。

小球恰能到达 B 点有: $v_{B1} = 0$ ①

对小球从最高点到 B 点利用动能定理有:

$$mg(h_1 - R) = 0 \quad ②$$

联立①②两式解得 $h_1 = R$

小球到达 B 点后水平抛出落到 A 点有:

水平方向: $R = v_{B2} \cdot t$ ③

竖直方向: $R = \frac{1}{2} g \cdot t^2$ ④

对小球从最高点到 B 点过程利用动能定理有:

$$mg(h_2 - R) = \frac{1}{2} m v_{B2}^2 \quad ⑤$$

联立③④⑤三式解得

$$h_2 = \frac{5}{4} R$$

即有 $h_1 : h_2 = 4 : 5$

点评:小球通过圆管道最高点 B 点,又要使小球能掉在管口 A 端必须要使小球同时满足两个条件,此条件即为此双临界问题的两个临界条件。找出了临界条件,将双临界问题转化为单临界问题求解。

上文对中学常见的并列关系双临界问题进行了分类阐述,在求解双临界问题前一定要分清是什么轨道模型,什么物理事件和临界条件是什么等。一旦找出了双临界条件,就可以将双临界问题转化为单一的临界问题求解。